

POLAROGRAFI DENYUT UNTUK PENENTUAN KADAR EMAS DALAM LARUTAN CAMPURAN DENGAN TEMBAGA DAN PERAK TANPA PROSES PEMISAHAN

Soefjan Tsauri

Puslitbang Kimia Terapan - LIPI, Bandung

INTISARI

Cara Polarografi Denyut diteliti untuk penentuan emas kadar rendah (~2 ppm) dalam larutan campuran bersama perak dan tembaga tanpa pemisahan. Dengan menemukan kondisi yang tepat, puncak tegangan dari polarogram emas, perak dan tembaga dapat dipisahkan. Dalam kondisi ini, penentuan emas dapat dilakukan walaupun perak dan tembaga tetap berada dalam larutan campuran.

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain bahwa :

1. Sistem campuran KOH 1,5M, KNO_3 0,02M dan KCN 0,01M, yang disebut elektrolit pendukung pengkompleks campuran atau disingkat dengan EPPC, mampu meniadakan gangguan puncak tegangan polarogram tembaga dan perak dari daerah puncak tegangan polarogram emas, secara Polarografi Denyut Derivatip.
2. Kemampuan yang dimiliki EPPC tersebut memungkinkan digunakannya sistem itu untuk menentukan emas pada selang konsentrasi antara 2 sampai 10 ppm dalam larutan campuran dengan tembaga dan perak yang masing-masing berjumlah sekitar 30 ppm, tanpa melalui proses pemisahan, secara Polarografi Denyut Derivatip.

Selanjutnya telah dicobakan juga peninjauan awal penerapan sistem EPPC ini untuk penentuan kadar emas dalam contoh batuan yang ada dan hasilnya dibandingkan dengan cara Analisa Pengaktifan Netron.

ABSTRACT

Pulse Polarographic determination of gold (~2 ppm) in a solution mixture with the presence of silver and copper ion without separation has been examined. Utilizing the suitable condition, polarographic peaks of gold, silver and copper were separated and thus could make the determination of gold possible in a solution with silver and copper ions.

From the investigations carried out, several conclusions were derived i.e. :

1. A system of KOH 1,5M, KNO_3 0,02 M and KCN 0,01M, which was then called the complexing and supporting electrolyte mixture or "Elektrolit Pendukung Pengkompleks Campuran (EPPC)", appeared to be capable to remove the interference of copper and silver peaks from the gold polarogram peak area in the Derivative Pulse Polarography.
2. The capabilities of this EPPC are used to determine the concentration of gold in the range of 2 to 10 ppm. The determination was carried out by the Derivative Pulse Polarography in a solution mixture with 30 ppm of silver and copper ion.

Preliminary application of the EPPC system to the analysis of gold in a rock sample was observed and the result was compared with Neutron Activation Analysis method.

PENDAHULUAN

Pengkajian yang mendalam tentang emas telah menarik perhatian para peneliti, baik yang menyangkut sifat kimianya secara umum⁽¹⁻⁶⁾, maupun cara penentuan kuantitatifnya⁽⁷⁻¹¹⁾.

Penentuan emas kadar rendah secara Polarografi Denyut dalam suatu larutan campuran bersama perak dan tembaga tanpa pemisahan diangkat menjadi tema pokok dalam penelitian ini karena permasalahan yang terkandung cukup menarik. Penemuan kondisi yang tepat untuk memecahkan masalah tersebut serta pengungkapan kemampuan aplikasinya, merupakan tujuan dari penelitian ini⁽¹²⁾.

Letak puncak tegangan suatu unsur dalam sebuah polarogram pada dasarnya ditentukan antara lain oleh jenis dan konsentrasi elektrolit pendukung yang digunakan serta oleh jenis senyawa kompleks yang terbentuk⁽¹³⁻¹⁷⁾. Dengan menemukan kondisi yang tepat, puncak tegangan dari polarogram emas, perak dan tembaga dapat dipisahkan. Dalam kondisi ini penentuan emas dapat dilakukan walaupun perak dan tembaga tetap dalam larutan campuran.

Berdasarkan pemikiran di atas, beberapa hipotesa berikut dikemukakan dalam upaya memecahkan masalah yang ada dalam penelitian ini : (1) Kondisi polarografi dan sistem elektrolit pendukung yang tepat memungkinkan dihilangkannya gangguan tembaga dan perak dengan jalan menggeser puncak tegangan tembaga dan perak atau memindah puncak tegangan tembaga dan perak yang semula menutupi puncak emas. (2) Perbedaan pergeseran puncak tegangan di atas terjadi, antara lain, bila dalam kondisi dimaksud, emas, tembaga dan perak membentuk kompleks yang berbeda sebagai akibat tidak samanya kemampuan pembentukan kompleks dari ketiga unsur tersebut terhadap suatu ligand tertentu. (3) Kondisi di atas memungkinkan dilaksanakannya penentuan emas, secara Polarografi Denyut, dalam larutan campuran bersama tembaga dan perak tanpa proses pemisahan.

PERCOBAAN

Bahan Kimia

Semua zat kimia yang digunakan, kecuali bila disebut lain, adalah "pro analisa" dan langsung digunakan tanpa pemurnian lebih lanjut. Khusus untuk emas, di samping senyawa murni, dipakai juga logam lempengan yang dipesan dari PT Logam Mulia dengan kemurnian 99,998%. Gas yang digunakan untuk menghilangkan oksigen terlarut dalam contoh adalah N_2 . Gas tersebut, sebelum dialirkan ke dalam larutan contoh, dilewatkan dalam senyawa penangkap oksigen pirogalol.

Peralatan

Analisa polarografi dilaksanakan dengan menggunakan se-

perangkat peralatan dari METROHM. Sebagai elektroda kerja dipakai Elektroda Raksa Tetes. Sistem penghasil raksa tetes dan sel Polarografi tersusun dalam kerangka dari METROHM AE 505. Elektroda Ag/AgCl/KCl, METROHM EA 427, bertindak sebagai elektroda pembanding. Sedangkan untuk elektroda tambahan digunakan elektroda logam Platina METROHM EA 202. Sebagai alat penghasil polarogram dipakai Polarecord METROHM E 506. Bila percobaan dilakukan tanpa pengaturan suhu, sel polarografi yang dipakai adalah METROHM EA 880-20. Adapun untuk analisa pada suhu tetap, dipasang sel dengan selubung termostatis, METROHM EA 876-20. Pengaturan suhu dilakukan dengan sistem aliran air suhu tetap dari HAAKE. Kestabilan tegangan jaringan listrik yang masuk ke peralatan Polarografi dijaga dengan STAVOL-MATSUNAGA. Dalam percobaan ini diperlukan juga beberapa peralatan gelas yang umum dipakai.

Tata Kerja

Berikut ini diuraikan tata kerja umum yang digunakan dalam penelitian ini, dimana beberapa penyesuaian kecil dilakukan sehubungan dengan jenis serta keadaan contoh yang dianalisa :

- Ke dalam labu ukur 100 ml dimasukkan sejumlah tertentu larutan emas atau contoh lain yang akan dianalisa, kemudian ditambahkan larutan elektrolit pendukung dan seluruh isi labu diencerkan sampai tepat 100 ml. Dari labu tersebut diambil 30 ml larutan dan dimasukkan ke dalam sel polarografi yang bersih dan kering. Untuk penentuan pada suhu tetap, digunakan sel khusus dengan selubung termostatis yang dialiri air suhu tetap.
- Setelah itu ke dalam sel dialiri gas N_2 bebas oksigen selama 15 menit. Pipa penyalur nitrogen diangkat dari larutan tapi tidak ke luar dari sel. Dengan demikian, selama percobaan berlangsung, aliran halus gas nitrogen masih tetap meliputi seluruh larutan contoh yang dianalisa.
- Hasil pengukuran tergambar dalam kertas rekorder pada Polarecord METROHM E 506. Dari polarogram yang terekam dapat diukur tegangan puncak contoh yang dianalisa. Besar arus puncak dihitung dari tinggi puncak polarogram yang ada. Khusus untuk penentuan larutan contoh batuan emas, setelah selesai pengukuran, sejumlah tertentu larutan emas standar dimasukkan ke dalam sel. Kemudian diulang lagi tahap b dan c. Demikian juga untuk penambahan kedua, ketiga dan seterusnya. Hal ini dilakukan dalam rangka penghitungan kadar emas dalam contoh dengan cara penambahan standar.
- Pada umumnya pengaturan peralatan adalah : waktu tetes: 2 detik (dengan "mechanical droptimer"); "scan rate": 2 mV/detik; "display direction": positif; "scan direction": negatif; besar denyut: -100 mV; besar "damping": 0; "operation mode": polarografi denyut derivatip.
- Tata kerja lain yang menyangkut penyiapan percobaan, pengolahan data serta penghitungan hasil, dimana penahapan pengerjaannya tidak disebutkan disini, dilakukan menurut cara yang sudah umum^(10, 13, 14).

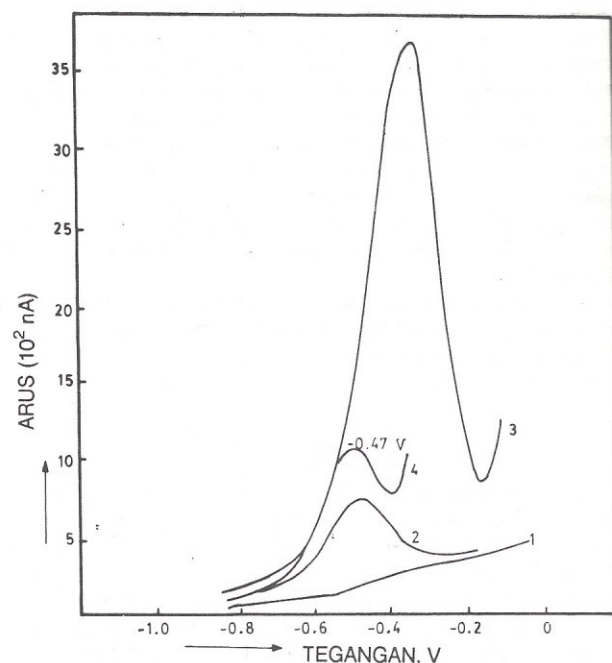
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistim Elektrolit Pendukung dan Pengkompleks Campuran

Dari percobaan yang diamati dengan menggunakan elektrolit pendukung campuran KOH, KNO_3 , dan KCN diperoleh hasil yang cukup menggembirakan.

Munculnya kembali puncak emas, setelah dilakukan penambahan sianida sangat menarik untuk dikaji lebih lanjut. Percobaan-percobaan diteruskan dengan menggunakan elektrolit campuran yang diperoleh dari larutan KOH 2M, KNO_3 0,1M dan KCN 0,05M pada berbagai macam perbandingan. Pemilihan jenis elektrolit pendukung tersebut didasarkan pada penelitian sebelumnya^(8, 13, 15), dimana telah dicobakan baik secara tunggal ataupun campuran dan terlihat bahwa KOH, KNO_3 dan KCN diperkirakan sesuai untuk penelitian ini.

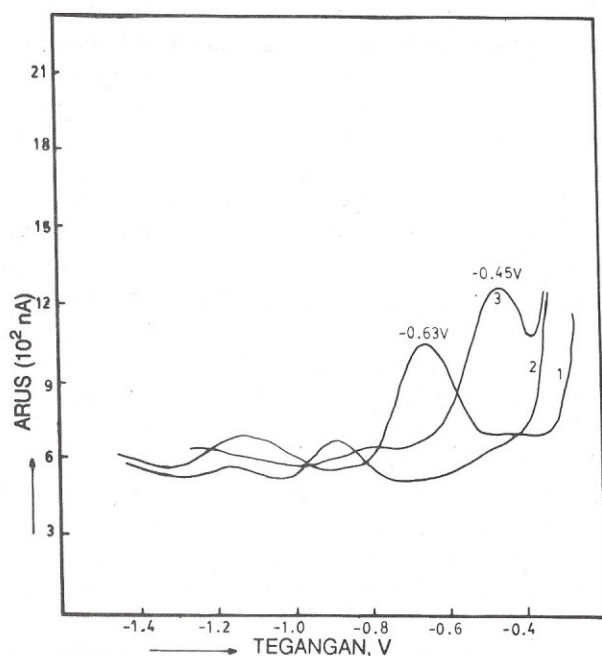
Gambar 1 menunjukkan bahwa puncak polarogram emas dalam elektrolit pendukung campuran KOH- KNO_3 (4:1) yang berada pada tegangan -0,47 V dan kemudian tertutup oleh puncak tegangan tembaga, ternyata muncul kembali pada tegangan semula, setelah kedalam elektrolit pendukung campuran tadi ditambahkan larutan KCN sehingga perbandingan volume campuran menjadi 4:1:1.



Gambar 1. Polarogram beberapa kondisi pengamatan

1. KOH- KNO_3
2. 10 ppm emas dalam KOH- KNO_3
3. 0 ppm emas dan 20 ppm tembaga dalam KOH- KNO_3
4. 10 ppm emas dan 20 ppm tembaga dalam KOH- KNO_3 -KCN

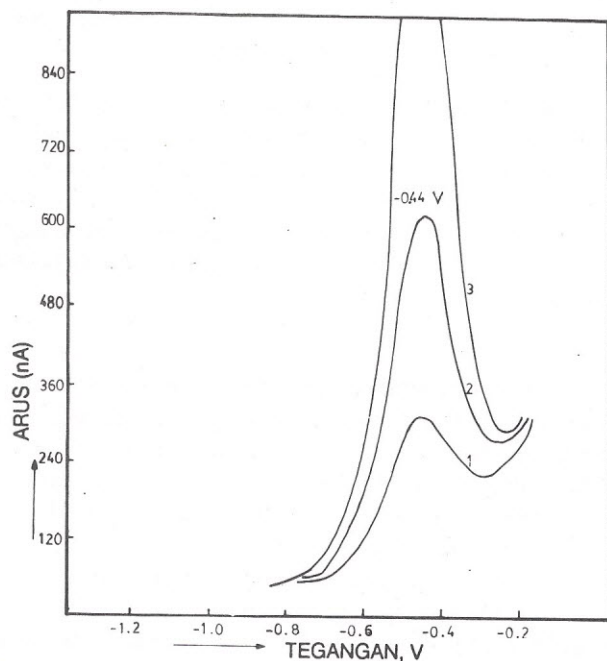
Sedangkan Gambar 2 menunjukkan perbandingan polarogram campuran emas, perak dan tembaga dalam elektrolit pendukung campuran KOH- KNO_3 -KCN dengan komposisi 4:1:1 dan 8:2:1. Dari beberapa perbandingan yang telah dicoba ternyata bahwa kondisi yang tepat dicapai dalam campuran 4:1:1 yaitu yang terdiri atas KOH 1,5M, KNO_3 0,02M dan KCN 0,01M. Campuran khusus tersebut untuk selanjutnya dalam tulisan ini dinamakan Elektrolit Pendukung Pengkompleks Campuran atau disingkat dengan EPPC.



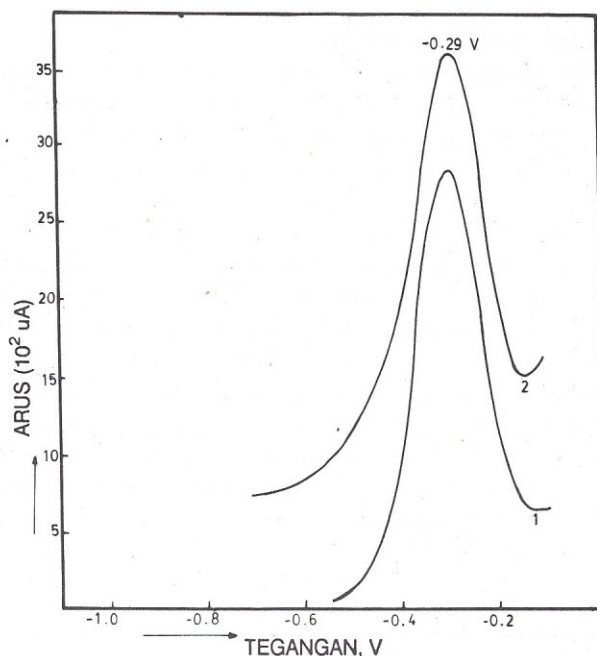
Gambar 2. Polarogram campuran emas, tembaga dan perak dalam KOH-KNO₃-KCN

1. 20 ppm tembaga dan 35 ppm perak dalam KOH-KNO₃-KCN (8:2:1)
2. 20 ppm tembaga dan 35 ppm perak dalam KOH-KNO₃-KCN (4:1:1)
3. 20 ppm tembaga, 35 ppm perak dan 12 ppm emas dalam KOH-KNO₃-KCN (4:1:1)

Bukti keunggulan EPPC selanjutnya dapat dijelaskan berdasarkan percobaan pada Gambar 3, 4 dan 5 yang masing-masing memperlihatkan puncak kromatogram larutan emas pada berbagai konsentrasi dalam KOH-KNO₃ (4:1) (Gambar 3), ternyata tertutup mutlak oleh puncak tembaga (Gambar 4), tetapi kemudian bila digunakan EPPC maka puncak emas muncul kembali walaupun terdapat tembaga dan perak seperti terlihat dalam Gambar 5. Terlihat bahwa puncak tegangan emas dapat

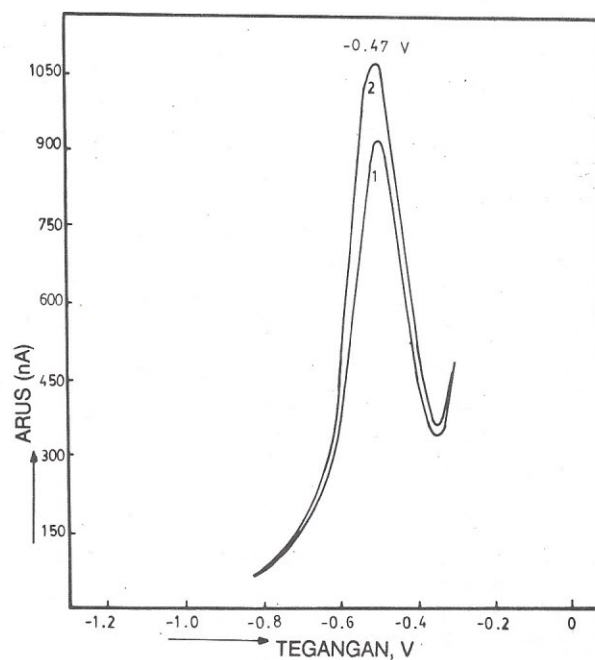


Gambar 3. Polarogram emas dalam KOH-KNO₃
1. 2 ppm emas ; 2. 6 ppm emas ; 3. 10 ppm emas



Gambar 4. Polarogram campuran emas dan tembaga

1. 20 ppm tembaga dalam KOH-KNO₃
2. 20 ppm tembaga dan 20 ppm emas dalam KOH-KNO₃



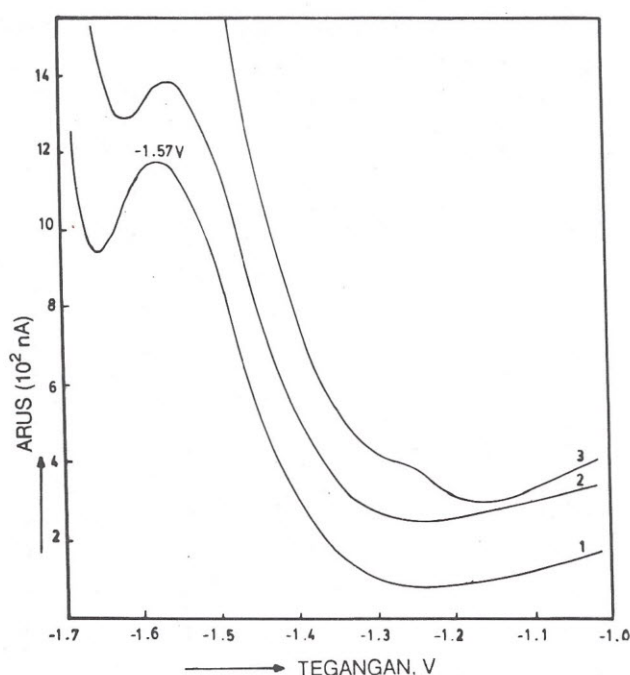
Gambar 5. Polarogram campuran emas, tembaga dan perak dalam EPPC

1. 30 ppm emas, 30 ppm tembaga dan 36 ppm perak.
2. 35 ppm emas, 30 ppm tembaga dan 36 ppm perak.

dikatakan telah terbebas dari gangguan tembaga dan perak. Dengan demikian dapatlah disimpulkan bahwa EPPC mempunyai kemampuan untuk menghilangkan gangguan puncak-puncak polarogram tembaga dan perak terhadap puncak emas, walaupun secara fisik kedua ion pengganggu masih tetap berada dalam sistem campuran buatan yang dipunyai.

Keadaan dalam Sistem EPPC

Penghilangan gangguan tembaga dan perak terjadi dalam sistem EPPC karena pada sistem tersebut ion perak dan ion tembaga membentuk kompleks yang puncak-puncak tegangannya berada di luar daerah puncak emas. Kondisi dimaksud terjadi akibat terbentuknya kompleks antara ligand sianida dengan ion tembaga dan ion perak, tapi tidak dengan ion emas. Pembentukan kompleks sianida-tembaga dan sianida-perak menyebabkan bergesernya puncak tembaga dan puncak perak yang semula menutup puncak emas. Sedangkan emas masih tetap berbentuk kompleks hidroksida. Dari pengamatan yang diperoleh dalam Gambar 6 terlihat bahwa larutan campuran emas, perak dan tembaga dalam elektrolit pendukung sianida menunjukkan puncak pada tegangan sekitar -1,5 volt. Puncak emas dalam sistem EPPC muncul pada daerah yang sama dengan dalam elektrolit pendukung hidroksida, yaitu pada tegangan sekitar -0,40 volt.



Gambar 6: Polarogram campuran emas, tembaga dan perak dalam larutan KCN

1. 26 ppm emas ; 2. 26 ppm emas dan 28 ppm perak ;
3. 26 ppm emas, 28 ppm perak dan 20 ppm tembaga

Perbedaan perilaku antara ion emas, ion tembaga dan ion perak dalam EPPC dapat dijelaskan sebagai berikut :

Salah satu konsep yang dapat digunakan untuk meninjau faktor-faktor yang menentukan kekuatan ikatan antara ion logam dan ligand, adalah pengertian asam dan basa yang keras (hard) atau lunak (soft)⁽¹⁸⁻¹⁹⁾. Dengan pengertian tersebut, suatu ion logam dapat digolongkan asam lunak bila muatannya rendah, ukurannya besar dan mempunyai beberapa elektron luar yang mudah terangsang (excited).

Berdasarkan pengertian di atas diperoleh pula suatu aturan umum yang menyatakan bahwa kecenderungan asam keras akan membentuk ikatan yang kuat dengan basa keras,

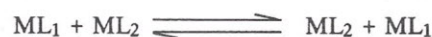
sedangkan asam lunak cenderung untuk berkoordinasi dengan basa lunak. Kompleks demikian umumnya lebih stabil daripada kompleks yang terbentuk antara asam keras dengan basa lunak atau asam lunak dengan keras⁽¹⁸⁾.

Disebutkan pula bahwa kestabilan suatu kompleks antara ion logam keras dengan basa keras akan bertambah dengan naiknya muatan ion logam, yaitu $Al^{3+} > Mg^{2+} > Na^{+}$ ⁽¹⁹⁾. Untuk kompleks antara ion logam lunak dengan basa lunak yang terjadi adalah kebalikannya. Urutan kestabilannya adalah $Ag^{+} > Cd^{2+} > Au^{3+} > Sn^{4+}$ ⁽¹⁹⁾.

Aturan lain⁽²⁰⁾ menyebutkan bahwa keadaan valensi rendah sangat stabil dalam larutan yang mengandung sianida, sedangkan valensi tinggi stabil dalam larutan basa keras, hidroksida.

Apabila teori-teori yang telah dikemukakan tersebut dicoba diterapkan untuk mengungkap sistem EPPC yang ditemukan, maka dapat disebutkan penjelasan berikut. Ion emas, ion tembaga dan ion perak termasuk golongan asam lunak. Ion sianida adalah basa lunak sedangkan ion hidroksida merupakan basa keras.

Dalam sistem EPPC berlangsung suatu reaksi, yang secara se-cara sederhana dapat dinyatakan sebagai berikut :



dimana M menyatakan ion emas, ion tembaga atau ion perak, L_1 adalah ion sianida sedangkan L_2 adalah ion hidroksida. Berdasarkan patokan yang telah diuraikan, dapatlah kemudian dikemukakan bahwa dalam sistem EPPC :

- i. Urutan kestabilan kompleks ML_1 yang terbentuk dalam sistem EPPC adalah $Ag^{+} < Cu^{2+} > Au^{2+}$.
- ii. Keadaan valensi rendah, Ag^{+} dan Cu^{2+} , stabil dalam larutan yang mengandung sianida.
- iii. Keadaan valensi tinggi, Au^{3+} , stabil dalam larutan yang mengandung hidroksida.
- iv. Tingkat oksidasi rendah, Ag^{+} dan Cu^{2+} , memilih ligand yang terikat melalui atom nitrogen, yaitu ion sianida.
- v. Tingkat oksidasi tinggi, Au^{3+} , memilih ligand yang terikat melalui atom oksigen, yaitu hidroksida.

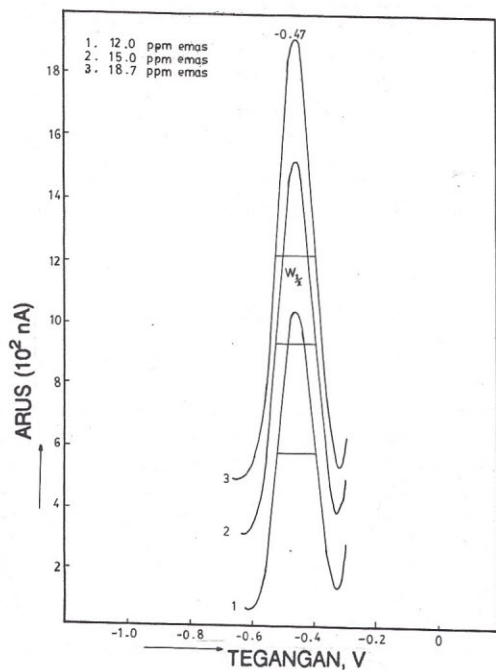
Jadi dapat disimpulkan bahwa dalam kondisi sistem EPPC yang ditemukan, ion tembaga dan ion perak berbentuk kompleks sianida, sedangkan ion emas dalam bentuk kompleks hidroksida. Larutan EPPC yang digunakan merupakan kondisi batas dimana ion tembaga dan ion perak telah membentuk kompleks sianida sedangkan ion emas masih dalam bentuk kompleks hidroksida.

Kemungkinan Pemanfaatan serta Batasan Sistem EPPC

Kemampuan EPPC dalam menghilangkan gangguan puncak tegangan tembaga dan perak dari daerah puncak emas, merupakan keunggulan utama sistem tersebut. Namun demikian, masih diperlukan syarat lain agar sistem tersebut dapat digunakan untuk menarik kesimpulan kuantitatif dari data yang diperoleh yaitu bahwa reaksi pada elektroda tetes harus reversibel.

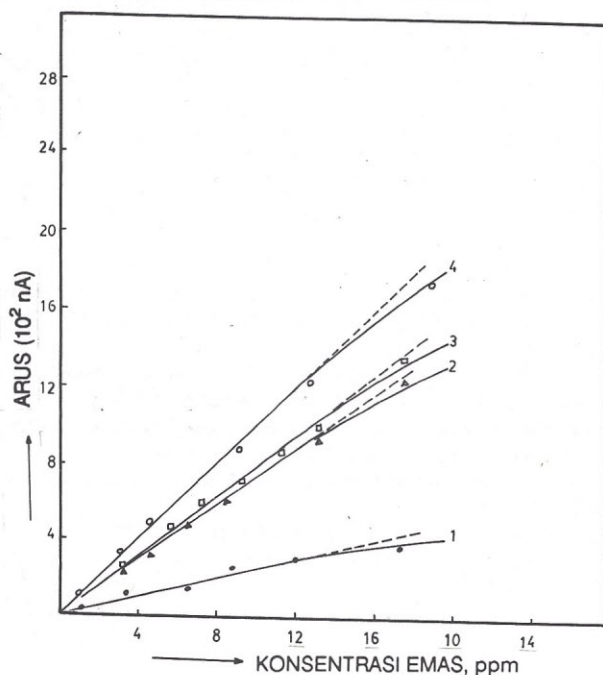
Dari Gambar 7 dapat diamati bahwa dalam EPPC yang mengandung 25 ppm tembaga dan 41 ppm perak, untuk selang konsentrasi emas antara 12 sampai 26 ppm, harga lebar setengah puncak atau $W_{1/2}$ adalah tetap sebesar 108 mV. Kenyataan ini merupakan salah satu petunjuk bahwa reaksi

elektroda yang timbul dalam sistem tersebut adalah reversibel⁽¹⁷⁾.



Gambar 7. Pengukuran $W_{1/2}$ emas bercampur 25 ppm tembaga dan 41 ppm perak.

Dalam Gambar 8 terlihat bahwa dengan menggunakan sistem EPPC, kurva kalibrasi emas dalam larutan campuran dengan perak dan tembaga bentuknya linear untuk selang konsentrasi emas antara 2 sampai 10 ppm dengan kadar gangguan perak dan tembaga masing-masing sekitar 30 ppm.



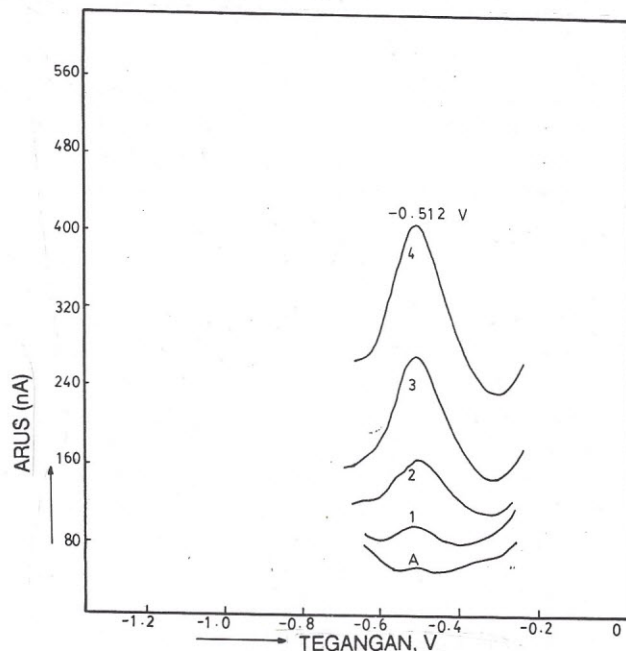
Gambar 8. Pengaruh tembaga dan perak terhadap kurva kalibrasi emas.

1. Emas dalam EPPC
2. Emas dan 25 ppm tembaga dalam EPPC
3. Emas, 25 ppm tembaga dan 41 ppm perak dalam EPPC
4. Emas dalam KOH-KNO₃

Namun dapat diamati bahwa konsentrasi kedua ion pengganggu di atas mempengaruhi kemiringan kurva kalibrasi yang didapat. Akibatnya adalah cara kurva kalibrasi dalam sistem dimaksud sulit digunakan untuk menentukan kadar emas dalam campuran bila jumlah tembaga dan perak belum diketahui. Karenanya untuk menentukan kadar emas dalam campuran di atas, dipilih cara penambahan standar. Pada cara terakhir ini, pengaruh adanya perak dan tembaga dapat diabaikan mengingat pada dasarnya susunan matriks yang ada dalam sistem akan tetap selama penentuan.

Akhirnya telah ditinjau percobaan awal penggunaan EPPC ini untuk menentukan kadar emas dalam contoh batuan emas. Sebagai uji pembandingan, telah dilakukan penentuan contoh yang sama di Laboratorium PPTN-BATAN, Bandung, secara Analisa Pengaktifan Neutron.

Bentuk polarogram contoh batuan emas yang dianalisa dengan menggunakan EPPC secara Polarografi Denyut Derivatip, dapat dilihat antara lain dalam Gambar 9. Penentuan kuantitatif kadar emas dalam contoh batuan dilakukan dengan cara penambahan standar dan konsentrasi emas terhitung⁽¹²⁾ adalah 0,93 ppm, sedangkan penentuan secara Analisa Pengaktifan Neutron memberikan hasil 0,90 ppm.



Gambar 9. Polarogram contoh bahan galian emas A. Contoh bahan galian emas

1. Setelah penambahan 4 ppm emas
2. Setelah penambahan 6 ppm emas
3. Setelah penambahan 8 ppm emas
4. Setelah penambahan 10 ppm emas

Dari perbandingan pendahuluan tersebut, dapat digunakan sebagai tambahan informasi kemungkinan pemanfaatan EPPC ini.

Jelas masih diperlukan beberapa penyempurnaan sehingga EPPC ini dapat digunakan secara praktis untuk analisa kadar emas dalam bahan galian. Dan telah terbukti bahwa EPPC tersebut merupakan calon yang cukup baik untuk dikaji lebih lanjut. Hasil penelitian ini telah pula membuka beberapa alur penelitian baru yang tidak mungkin dapat dilaksanakan tanpa ditemukannya sistem EPPC tersebut.

KESIMPULAN

Dari hasil-hasil percobaan yang telah dilakukan, dalam usaha penggunaan cara analisa Polarografi Denyut untuk menentukan kadar emas dalam larutan campuran bersama perak dan tembaga tanpa pemisahan, dapat dikemukakan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem campuran KOH 1,5M, KNO_3 0,02M dan KCN 0,01M, yang disebut Elektrolit Pendukung Pengkompleks Campuran atau disingkat dengan EPPC, mampu meniadakan gangguan puncak tegangan polarogram tembaga dan perak dari daerah puncak tegangan polarogram emas, secara polarografi denyut derivatif.
2. Dalam kondisi di atas, tembaga dan perak berbentuk kompleks sianida sedangkan emas masih belum berbentuk kompleks sianida-nya. Hal ini timbul akibat adanya perbedaan kemampuan pembentukan kompleks dari ketiga unsur tersebut terhadap sianida.
3. Efek polarisasi ion tembaga dan perak, yang relatif lebih tinggi dari ion emas, menunjang kecenderungan pembentukan kompleks kedua ion tersebut dengan ion sianida pada kondisi dimana ion emas belum membentuk kompleks sianida sedangkan ion emas masih tetap dalam bentuk kompleks hidroksida.
4. Kemampuan yang dimiliki EPPC tersebut memungkinkan digunakannya sistem itu untuk menentukan emas pada selang konsentrasi antara 2 sampai 10 ppm dalam larutan campuran dengan tembaga dan perak yang masing-masing berjumlah sekitar 30 ppm, tanpa melalui proses pemisahan, secara polarografi denyut derivatif.
5. Cara kurva kalibrasi dalam sistem dimaksud sulit digunakan untuk menentukan kadar emas dalam campuran bila jumlah tembaga dan perak tidak diketahui, karena konsentrasi kedua ion tersebut mempengaruhi kemiringan kurva. Dalam hal demikian dapat dipakai cara penambahan standar internal.

Dari beberapa kesimpulan di atas, dapatlah disebutkan bahwa penggunaan EPPC merupakan salah satu jawaban untuk pemecahan masalah yang dihadapi dalam penelitian ini.

Berdasarkan pengungkapan kemampuan kondisi yang menggunakan EPPC sebagai larutan pendukung, ternyata pula bahwa ketiga hipotesa yang diajukan dapat dijelaskan.

Dengan berhasilnya penelitian ini, maka beberapa jalur penelitian baru yang dapat dilakukan antara lain adalah :

1. Penentuan koefisien difusi ion emas pada proses Polarografi Denyut, dalam dua jenis sistem elektrolit pendukung yaitu KOH dan EPPC.
2. Kinetika proses pada elektroda raksa tetes dalam larutan campuran emas, tembaga dan perak dengan menggunakan sistem EPPC.
3. Percobaan beberapa kondisi analogi sistem EPPC untuk campuran logam-logam lain.

4. Penggunaan sistem EPPC untuk penentuan emas dalam campuran dengan perak dan tembaga tanpa pemisahan secara Polarografi Kalaussek, Voltametri Pengurangan (Stripping Voltametry) atau Voltametri Berulang (Cyclic Voltametry).
5. Penentuan emas dalam beberapa matriks simulasi, yang terdiri atas ion logam pengganggu yang serupa susunannya dengan batuan emas alamiah, dengan menggunakan sistem EPPC secara Polarografi Denyut.

DAFTAR PUSTAKA

1. N.P. Finkelstein, R.D. Hancock. A Approach to the Chemistry of Gold. *Gold Bulletin* 7: 72-77 (1972).
2. H. Schmidbaur. Is Gold Chemistry a Topical Field of Study ?. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 15: 728-740 (1976).
3. J. Herrera Gallego, C.E. Castellano, A.J. Calandar and A.J. Arvia. The Electrochemistry of Gold in Acid Aqueous Solutions Containing a Chloride Ions. *J. Electroanal. Chem.* 66: 207-230 (1975).
4. S.B. Brummer and A.C. Makrides. Surface Oxidations of Gold Electrodes. *J. Electrochem. Soc.* 111: No. 10 1122-1128 (1964).
5. J.H. Waters and H.B. Gray. A Stable Paramagnetic Complex of Gold, *J. Am. Chem. Soc.* 87: 3534-3535 (1965).
6. A.D. Golsby and D.T. Sawyer. Electrochemistry of Gold (I) and Its Complexes in Acetonitrile. *Anal. Chem.* 40: 1978-1983 (1968).
7. R. Alexander, B. Kinsel and A. Middleton. Cathodic Voltametric Determination of Gold. *J. Electroanal. Chem.* 93: 19-27 (1978).
8. J. Kantasubrata. Penelitian Mengenai Metoda Pelarutan Mineral Emas dan Studi Pendahuluan Mengenai Analisa Polarografi Emas, Skripsi Sarjana, Departemen Kimia, ITB (1979).
9. S.H. Qureshi. Trace Analysis of Noble Metals by Use of Catalytic Chemical Reactions, Ph.D. Thesis, UNSW. (1978).
10. P.W.J.M. Boumans and R.M. Barnes. Detection Limits 1978. *ICP Information Newsletter*. 3: No.11 445-447 (1978).
11. R.B. Wemyss and R.H. Scott. Simultaneous Determinations of Platinum Group Metals and Gold, in Ores and Related Plant Materials by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Anal. Chem.* 50: 1694-1697 (1978).
12. Soefjan Tsauri. Polarografi Denyut untuk Penentuan Kadar Emas dalam Larutan Campuran dengan Tembaga dan Perak tanpa Proses Pemisahan, Dissertasi, ITB, (1985).
13. I.M. Kolthoff and J.J. Lingane. *Polarography*, 2nd ed. Interscience, New York, 1952.
14. P. Delahay. *New Instrumental Methods in Electrochemistry*, Interscience, New York, 1958.
15. J.W. Greiner and L. Meites. Polarographic Half-Wave Potentials of Metal Ions in Various Supporting Electrolytes. *Anal. Chim. Acta.* 14: 482-494 (1956).
16. D.N. Hume. Polarographic Theory, Instrumentation, and Methodology (Review). *Anal. Chem.* 28: 625-637 (1956).
17. E.P. Parry and R.A. Osteryoung. Evaluation of Analytical Pulse Polarography, *Anal. Chem.* 37: 1634-1637 (1965).
18. R.G. Pearson. Hard and Soft Acids and Bases, *J. Am. Chem.Soc.* 85: No. 22, 3533-3539 (1963).
19. R.G. Pearson. Acids and Bases. *Science* 151: 172-177 (1966).
20. A. Ringbon, *Complexation in Analytical Chemistry*, Interscience, New York, 1963.